Iranian Journal of Animal Science Research
Homepage: http://ijasr.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No.4, 2025, p. 475-486

Effects of Conditioning Temperature on Pellet Quality, Nutrients Digestibility, and Metabolizable Energy of Broilers Diet

Seyedeh Vajiheh Shakhs Emampour[1] Abolghasem Golian[2*], Heydar Zarghi[3], Ali Reza Hesabi Nameghi[4]

1-2 and 3- Ph.D. Student, Professor and Associate Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
4- Associate Professor, Department of Animal Science, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Khorasan Razavi Province, Areeo, Mashhad, Iran.
*Corresponding Author's Email: a-golian@um.ac.ir

Received: 03-01-2023 Revised: 28-02-2023 Accepted: 01-03-2023 Available Online: 01-03-2023	**How to cite this article:** Shakhs Emampour, S. V., Golian, A., Zarghi, H., & Hesabi Nameghi, A. (2025). Effects of conditioning temperature on pellet quality, nutrients digestibility, and metabolizable energy of broilers diet. *Iranian Journal of Animal Science Research*, *16*(4), 475-486. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/ijasr.2023.84863.1176

Introduction: Pelleting is one of the most common methods of thermal processing for poultry feed. The primary goal of pelleting is to agglomerate smaller feed particles using mechanical pressure, moisture, and heat. Previous studies have shown that pelleted feeds enhance production economics by improving feed efficiency and growth performance. A key step in the pelleting process is conditioning the mash prior to pelleting, which reduces the electrical energy usage (EEU) of pellet mill motors by facilitating the smooth passage of materials through the die press, playing a crucial role in forming high-quality pellets. Additionally, effect on productive performance, reported conditioning temperature is the main factor affect it. Moderate thermal processing of broiler diets causes the separation of protein matrix, starch and fat, gelatinization of starch, destruction of anti-nutritional sensitive to heat and destruction of cell walls, and are considered positive chemical and physical changes in the process of pelleting with steam heat. Thermal processing improves the nutrient value of broiler diets, which usually has beneficial effects on performance. The use of high conditioning temperatures can damage the nutrients in the feed, leading to reduced nutrient intake and decreased bird performance. However, the better physical quality of pellets obtained at higher conditioning temperatures may affect broiler performance depending on the extent of negative effects of conditioner temperature on nutrient availability. Feed form affects the metabolizable energy of broiler pelleting and increases the apparent metabolizable energy of grains. The objective of the current study was to evaluate the influence of conditioning temperature on EEU of the pellet mill motors, feed pellet quality, apparent metabolizable energy corrected for nitrogen (AME_n), and apparent nutrients digestibility in the broiler chickens.

Materials and Methods: A diet were formulated on the broiler Ross 308 strain recommendations bases for grower period. The diet was prepared according to the experimental design, using a completely randomized design (CRD) with 11 treatments and 5 replicates per treatment. The treatments included mash feed, cold pelleting (unconditioned), and pelleting following conditioning at three different temperatures (55, 70, and 85°C), with feed samples collected at three different stages during feed preparation. The diet conditioning was done by conditioner manufactured by Feedtech at steam mixture for 30s and two bar steam pressure and then were pelleted through 2.5 mm die using a pellet mill. The desired temperatures of the conditioner were applied

http://doi.org/10.22067/ijasr.2023.84863.1176

by increasing the volume of steam and continuously measured during the passage of the feed using a digital thermometer. The electrical energy usage (EEU) of the pellet mill motors during the pellet diets predation were recorded. All pellet diets were sampled after production to test for pellet quality. Pellet quality was determined as a function of pellet durability index (PDI), fine percentage and pellet hardness. Durability was determined using a Holmen Pellet Tester (NHP200). The pellet hardness was determined by using a hardness tester. A total of 200 one-day-old male chicks (Ross 308) were purchased from a commercial hatchery, reared on floor covered with wood shavings and the Ross 308 guideline up to 11-day-old. To determine the apparent nutrients digestibility and apparent metabolizable energy corrected for nitrogen (AME_n), two birds were transferred to individual cages (replicate) on day 15 to adapt to cage conditions for 4 days. On d19, birds were subjected to eight hours' starvation following which collection trays were installed under each cage for excreta collection. Feed intake of the birds in each cage was recorded during the experimental period (19-21d). Total excreta were collected twice daily between 18-21d. Daily collections were immediately dried, pooled within a replicate, mixed, weighed and representative samples ground (0.5 mm sieve), and stored in airtight plastic containers (−20°C) until to analysis. Excreta and diet samples were analyzed for dry matter (DM; method 934.01), crude protein (CP; method 976.06), ether extract (EE; 954.02) according to the standard procedures of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2016). Apparent total tract retention coefficient of nutrients for diets were calculated. In addition, the gross energy of feeds and excreta samples were measured using adiabatic bomb calorimeter (Model 1266, PARR) and the apparent metabolizable energy was calculated. The data obtained from the experiment were analyzed in the form of a completely randomized design using SAS software version 9.1 (2003) with the general linear model (GLM) procedure. The respective means were compared with Tukey's test at the probability level ($P < 0.05$).

Results and Discussion: The effects of processing temperature on EEU of the pellet mill motors, and pellet quality were significant. So that the amount of electricity usage decreased (quadratic, $p< 0.001$), and increased pellet PDI (quadratic, $p<0.001$) and pellet hardness (linear, $p<0.002$) by increasing in conditioning temperature. The highest electricity usage was observed in the treatment without conditioning (cold pellet) and the lowest amount of electricity usage was observed in the 70, and 85C° treatments ($P<0.05$). The diet dry matter, crude protein and crude fat digestibility and AME_n were affected by processing ($P>0.05$) so that the highest digestibility rate and AME_n was observed in 70°C heat thermal treatment, which were significantly higher than mash diet. By increasing conditioning temperature, the AME_n and crude fat digestibility improved by quadratic trend ($p < 0.05$). The heat processing at 70°C and pelleting diet lead to 6.8% and 3.59% improving apparent fat digestibility and 96 kcal/kg (3.46%) and 74 kcal/kg (2.64%) improving in AME_n values than non-processed diet (mash diet) and cold pellet diet, respectively.

Conclusion: Based on the findings of this study, it is recommended to prepare feed in pellet form and apply a conditioning temperature of 70°C. This approach reduces the electrical energy consumption during feed preparation, improves pellet quality, and enhances nutrient digestibility and the apparent metabolizable energy (AMEn) of the diet.

Keywords: Apparent metabolizable energy, Conditioning, Nutrients digestibility, Pellet quality

نشریه پژوهشهای علوم دامی ایران
Homepage: http://ijasr.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۱۶، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ص. ۴۸۶-۴۷۵

تأثیر دمای کاندیشنینگ بر کیفیت فیزیکی پلت، انرژی قابل سوخت و ساز و قابلیت هضم مواد مغذی جیره جوجه‌های گوشتی

سیده وجیهه شخص امام پور [۱]، ابوالقاسم گلیان [۲*]، حیدر زرقی [۳]، علیرضا حسابی نامقی [۴]

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۰۷/۲۳
تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۰۸/۲۷
تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۰۹/۲۱

چکیده

این مطالعه به‌منظور بررسی تأثیر دمای کاندیشنینگ بر میزان برق مصرفی دستگاه پلت‌ساز، کیفیت فیزیکی پلت، قابلیت هضم مواد مغذی و انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری تصحیح شده برای ازت (AME_n) جیره جوجه‌های گوشتی انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تهیه جیره غذایی بر پایه ذرت-کنجاله سویا به‌صورت آردی، پلت سرد و پلت به‌دنبال کاندیشنینگ در دماهای ۵۵، ۷۰ و ۸۵ درجه سانتی‌گراد بودند. میزان انرژی الکتریکی مصرفی دستگاه پلت‌ساز به‌ازای تولید هر تن خوراک، استحکام و سختی پلت، قابلیت هضم مواد مغذی (ماده خشک، پروتئین و چربی) و AME_n جیره‌های آزمایشی به‌روش رکورد کل خوراک مصرفی و جمع‌آوری فضولات با استفاده از جوجه خروس‌های گوشتی سویه راس (۳۰۸) در سن ۲۱-۱۵ روزگی (میانگین وزن ۵±۴۷۰ گرم) تعیین شد. کاندیشنینگ سبب کاهش معنی‌دار میزان انرژی الکتریکی مصرفی دستگاه پلت‌ساز، افزایش استحکام و سختی پلت شد (p<۰/۰۰۱). در پاسخ به افزایش دمای کاندیشنینگ؛ کاهش میزان انرژی الکتریکی مصرفی دستگاه پلت‌سازی و افزایش استحکام پلت دارای روند معادله درجه دوم (P<۰/۰۰۱) و افزایش سختی پلت دارای روند خطی بودند (p<۰/۰۰۲). تهیه خوراک پلت (با و بدون کاندیشنینگ) باعث بهبود قابلیت هضم مواد مغذی (ماده خشک، پروتئین و چربی) و AME_n جیره شد. با افزایش دمای کاندیشنینگ قابلیت هضم چربی و AME_n جیره به‌صورت معادله درجه دوم (p<۰/۰۵) بهبود یافت. تهیه خوراک پلت به‌دنبال کاندیشنینگ در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد باعث بهبود قابلیت هضم چربی به‌میزان ۶/۸۰ و ۳/۵۹ درصد و بهبود AME_n به‌میزان ۹۶ و ۷۴ کیلوکالری در کیلوگرم ماده خشک به‌ترتیب در مقایسه با جیره آردی و پلت سرد شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، تهیه خوراک به‌فرم پلت به‌دنبال کاندیشنینگ در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌دلیل کاهش انرژی الکتریکی مصرفی دستگاه پلت‌ساز، بهبود کیفیت پلت، افزایش قابلیت هضم مواد مغذی و AME_n جیره توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری، قابلیت هضم مواد مغذی، کاندیشنینگ، کیفیت فیزیکی پلت

مقدمه

پلت کردن خوراک یکی از رایج‌ترین روش‌های فرآوری‌های خوراک طیور است. هدف از پلت کردن، متراکم کردن ذرات خوراک با استفاده از فشار مکانیکی همراه با رطوبت می‌باشد (Parsons *et al.,* 2006). مزایای تغذیه با جیره‌های پلت شده برای افزایش کارایی و صرفه اقتصادی در تولید جوجه‌های گوشتی، موضوع بررسی‌های اخیر بوده است (Abbasi Pour *et al.,* 2021; Abdollahi *et al.,* 2013b; Abdollahi *et al.,* 2018; Abdollahi *et al.,* 2019; Attar *et al.,* 2019; Dozier *et al.,* 2010; Goodarzi *et al.,* 2914). گزارش شده است که تهیه خوراک به‌فرم فیزیکی پلت باعث افزایش انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری غلات می‌شود (Khalil *et al.,* 2020). ترکیب جیره و اندازه ذرات از عوامل تأثیرگذار (حدود ۶۰ درصد) بر کیفیت فیزیکی پلت است و درجه بعدی (۴۰ درصد) کیفیت پلت تحت تأثیر فرآیند پلت کردن واقع است (Behnke, 1996). یکی از مراحل مهم در فرآوری پلت‌سازی، انجام فرآیند کاندیشنینگ قبل از ورود خوراک به دستگاه پلت‌ساز است. کاندیشنینگ با بخار نسبت به کاندیشنینگ بدون بخار موجب کاهش مصرف انرژی الکتریکی طی فرآیند پلت‌سازی می‌شود (Skoch *et al.,* 1981). کاندیشنینگ علاوه‌بر تأثیر بر عملکرد طیور موجب روان شدن و تسهیل عبور مواد از منافذ دای می‌شود و نقش مهمی در تشکیل خوراک پلت شده با کیفیت دارد (Froetschner, 2006).

۱- ۲ و ۳-به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار،گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۴- دانشیار، بخش علوم دامی، مرکز آموزش و تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: (Email: a-golian@um.ac.ir
http://doi.org/10.22067/ijasr.2023.84863.1176

فرآوری حرارتی ارزش مواد مغـذی جیـره جوجـه‌های گوشـتی را بهبود می‌بخشد که اثرات مفیـدی بـر عملکـرد تولیـدی جوجـه‌هـای گوشتی دارد (McCracken *et al.*, 2002). فرآوری حرارتی متعـادل جیره جوجه‌های گوشتی سبب تفکیک ماتریکس پروتئین- نشاسـته- چربی، ژلاتیناسیون نشاسته، تخریـب مـواد ضـد تغذیـه‌ای و تخریـب دیواره‌های سلولی می‌شود که از تغییرات شیمیایی و فیزیکی مثبت در فرآیند پلت کردن با حـرارت بخـار به‌شـمار می‌آینـد (Skoch *et al.*, 1981). از طرف دیگر، نتایج تحقیقات زیادی مشخص کرده است که استفاده از دمای کاندیشنینگ بالا به مواد مغذی جیره آسیب رسانده و باعث افـت عملکـرد طیـور مـی‌شـود (Abdollahi *et al.*, 2010a; Abdollahi *et al.*, 2010b; Kirkpinar and Basmacioglu,. 2006; Loar *et al.*, 2014). این محققین گزارش کردند کـه اعمـال دمای کاندیشنینگ بالاتر برای حصول خوراک پلت با کیفیت فیزیکـی بهتر، بسته به میزان تأثیرات منفی دمای کاندیشـنینگ بـر دسترسـی مواد مغذی، ممکن است عملکرد جوجه‌های گوشتی را تحت تأثیر قرار دهد. با توجه به مطالب ذکر شده، آزمایش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر دماهای مختلف کاندیشـنینگ بـر میـزان انـرژی الکتریکـی مصـرفی دستگاه پلت‌ساز، کیفیت فیزیکی (استحکام و سختی) پلت تولید شـده، قابلیت هضم مواد مغذی و انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری تصحیح شده برای ازت (AME_n) جیره در جوجه‌های گوشتی انجام شد.

مواد و روش‌ها

تهیه جیره‌های آزمایشی

تعداد ۱۱ جیره آزمایشی (وزن هر بچ ۳۰۰۰ کیلـوگرم) بـا ترکیـب مواد خوراکی و مواد مغذی کاملاً مشابه (جدول ۱)، بر اساس حـداقل احتیاجات جوجه‌های گوشـتی سـویه راس ۳۰۸ (۲۰۱۶)، بـرای دوره سنی ۲۴-۱۱ روزگی در کارخانه خـوراک دام و طیـور گهردانـه شـرق واقع در استان خراسان رضـوی کیلـومتر ۴۰ آزاد راه مشـهد- باغچـه تهیه شد. به‌منظور به حداقل رساندن تأثیر عوامل محیطی، مدیریتی و دستگاهی، تمامی جیره‌ها در یک روز تولید شدند. مواد خوراکی پس از بچ‌گیری با آسیاب چکشـی بـا تـوری چهـار میلی‌متـر آسـیاب شـدند. تیمارهای آزمایشی شامل تهیه خوراک به‌فرم فیزیکـی؛ ۱- آردی؛ ۲- پلت سرد (عبور از دستگاه کاندیشنینگ بدون اعمال حـرارت)؛ ۳، ۴ و ۵- پلـت گـرم بـه‌دنبال فـرآوری کاندیشـنینگ در دمـای ۵۵ درجـه سانتی‌گراد و اخذ سه خوراک در زمان‌ها با فاصـله برابـر طـی فرآینـد کاندیشنینگ؛ ۶، ۷ و ۸- پلت گرم بـه‌دنبال فـرآوری کاندیشـنینگ در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و اخذ سه خوراک در زمان‌ها با فاصله برابر طی فرآیند کاندیشنینگ؛ و ۹، ۱۰ و ۱۱- پلت گـرم بـه‌دنبال فـرآوری کاندیشنینگ در دمای ۸۵ درجـه سـانتی‌گراد و اخـذ سـه خـوراک در زمان‌ها با فاصله برابر طی فرآیند کاندیشنینگ بـا پـنج تکـرار بودنـد.

فرآوری حرارتی در مدت زمان ۳۰ ثانیه و فشار بخـار دو بـار (bar) بـا دستگاه کاندیشنر ساخت شرکت فیدتک اعمال شـد. اعمـال دماهـای مورد نظر (۵۵، ۷۰ و ۸۵ درجه سانتی‌گراد) کاندیشنر بوسـیله افـزایش حجم بخار تأمین می‌شد. دمای دستگاه کاندیشنر بـه‌طـور پیوسـته در طی عبور خوراک با استفاده از ترمومتر دیجیتال اندازه‌گیری و کنتـرل می‌شد. پلت‌سازی خوراک‌های آزمایشی با دستگاه پرس پلت سـاخت شرکت فیدتک با دای ۲/۵ میلی‌متر انجام شد.

برآورد میزان انرژی الکتریکی مصرفی دستگاه پلت‌ساز

جهت محاسبه مقدار انرژی الکتریکی مصرفی دسـتگاه پلـت‌سـاز، آمپر و ولتاژ مصرفی الکتروموتورهای دستگاه در مدت زمان تولید هـر یک از تیمارها، ثبت و با استفاده از معادله زیر میزان انرژی الکتریکـی مصرف با واحد کیلووات به‌ازای تولید هـر تـن خـوراک محاسـبه شـد (Payne *et al.*, 2001). عـدد حاصـله از فرمـول بـر مقـدار خـوراک تولیدی (تن) در مدت زمان یک ساعت تقسیم، عـدد به‌دسـت آمـده نشان‌دهنده راندمان دستگاه پلت‌ساز با واحد کیلووات ساعت به‌ازاء هر تن خوراک می‌باشد.

(۱)

$$\text{انرژی الکتریکی مصرفی} = \frac{\sqrt{3} \times 0.93 \times \text{آمپر دستگاه پلت} \times \text{ولتاژ}}{1000\ (\text{خوراک به کیلوگرم})}$$

سنجش کیفیت فیزیکی (استحکام و سختی) پلت

شاخص‌های سنجش کیفیـت شـامل اسـتحکام (PDI) و سـختی پلت در خوراک‌های آزمایشی در آزمایشگاه تعیین شدند. سنجش PDI پلت با اسـتفاده از دسـتگاه هـولمن (مـدل NHP200 سـاخت کشـور انگلستان) و سنجش سختی پلت بـا اسـتفاده از دسـتگاه سختی‌سـنج (ساخت شرکت کاهل) تعیین شد. استحکام پلـت (پـنج نمونـه از هـر جیـره آزمایشـی) در آزمایشـگاه آنـالیز کیفـی خـوراک مـورد ارزیـابی قرارگرفت. با استفاده از ترازوی دیجیتال (دقت ۰/۰۱) میزان ۱۰۰ گرم نمونه پلت الک شده (بدون خاکه) وزن گردید و برای مـدت ۶۰ ثانیـه در داخل چمبر در معرض جریان باد قـرار گرفـت، خاکـه به‌سـرعت از طریق سوراخ‌های چمبر جدا گردید. بعد از اتمـام ۶۰ ثانیـه، پلت‌هـای باقی‌مانده (پلت‌های سالم) در زمان چرخش توزین گردیـد و شـاخص مقاومـت پلـت (PDI)بـا اسـتفاده از معادلـه زیـر محاسـبه گردیـد (Babouyeh *et al.*, 2021).

جدول ۱– اجزای تشکیل‌دهنده و ترکیب مواد مغذی جیره‌های آزمایشی

Table 1- The ingredient and nutrient composition of experimental diets

اجزای تشکیل دهنده(درصد) Ingredient composition (%)		ترکیب مواد مغذی (درصد) Nutrient composition (%)	
ذرت Corn	59.15	انرژی قابل سوخت و ساز Metabolizable energy (kcal/kg)	2945
کنجاله سویا(۴۴ درصد پروتئین) Soybean meal (CP=44%)	35.00	پروتئین خام Crude protein (%)	20.22
روغن سویا Soybean oil	2.15	چربی خام Crude fat (%)	4.97
دی کلسیم فسفات Di-calcium phosphate	1.6	فیبرخام Crude fiber (%)	3.50
کربنات کلسیم Calcium carbonate	0.91	کلسیم Calcium (%)	0.80
نمک طعام Common salt	0.21	فسفر قابل‌دسترس Available Phosphorus (%)	0.35
جوش شیرین Sodium bicarbonate	0.20	سدیم Sodium (%)	0.16
مکمل ویتامینه[1] Vitamin- premix[2]	0.1	متیونین قابل‌هضم Digestible Met (%)	0.58
مکمل معدنی[2] mineral- premix[3]	0.1	متیونین+ سیستین قابل‌هضم Digestible Met + Cyc (%)	0.90
دی–ال میتیونین DL-methionine	0.28	لیزین قابل‌هضم Digestible Lys (%)	1.30
ال لیزین هیدروکلراید L-lysine HCl	0.17	ترئونین قابل‌هضم Digestible Thr (%)	0.89
ال–ترئونین L-threonine	0.06	تعادل الکترولیتی جیره Dietary cation anion balance	220
کولین کلراید Choline chloride	0.07		

[1] در هر کیلوگرم جیره موارد زیر را تامین می کرد: ۱۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A (رتینول)؛ ۴۵۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D_3 (کوله کلسیفرول)؛ ۶۵ واحد بین‌المللی ویتامین E (دی–ال–الفاتوکوفرول استات)؛ ۳ میلی‌گرم ویتامین K_3 (منادیون)؛ ۲/۵۳ میلی‌گرم B_1 (تیامین)؛ ۲/۵ میلی‌گرم B_2 (ریبوفلاوین)؛ ۶/۵ میلی‌گرم B_5 (اسید پانتوتنیک)؛ ۱۸ میلی‌گرم B_3 (نیاسین)؛ ۶۰ میلی‌گرم B_6 (پیریدوکسین)؛ ۳/۲ میلی‌گرم H_2 (بیوتین)؛ ۱/۹۰ میلی‌گرم B_9 (اسید فولیک)؛۰/۰۱۷ میلی‌گرم B_{12} (سیانوکوبالامین).

[2] در هر کیلوگرم جیره موارد زیر را تامین می‌کرد: ۱۱۰ میلی‌گرم روی (اکسید روی)؛ ۱۲۰ میلی‌گرم منگنز (اکسید منگنز)؛ ۱۶ میلی‌گرم مس (سولفات مس)؛ ۲۰ میلی‌گرم آهن (سولفات آهن)؛ ۱/۲۵ میلی‌گرم ید و ۰/۳ میلی‌گرم سلنیوم (سلنیت سدیم) می‌باشد.

[1]Provides per kg of diet: vitamin A (retinol), 10000 IU; vitamin D3 (cholecalciferol), 4500 IU; vitamin E (DL-α-tocopheryl acetate), 65 IU; vitamin K_3 (menadione), 3.0 mg; vitamin B1 (thiamin), 2.53 mg; vitamin B_2 (riboflavin), 2.5 mg; vitamin B3 (niacin), 18 mg; vitamin B_5 (pantothenic acid), 6.5 mg; vitamin B6 (pyridoxine), 60.0 mg; vitamin B_9 (folic acid), 1.9 mg; vitamin B12 (cyanocobalamin), 0.017 mg; vitamin H_2 (biotin), 3.2 mg.

[2]Provides (mg/kg of diet): Mn (manganese oxide) 120, Fe (iron sulphate) 20, Zn (zinc oxide) 110, Cu (copper sulphate) 16, Se (sodium selenite) 0.3.

$$PDI = \frac{\text{وزن پلت‌های سالم بعد از قرار گرفتن در دستگاه}}{\text{وزن کل پلت‌ها قبل از قرار گرفتن دستگاه}} \times 100 \qquad (۲)$$

برای سنجش سختی پلت یک قطعه پلت که از نظر طول به میانگین قطعات نمونه نزدیک بود، در راستای سطح افق بین دو بالشتک دستگاه قرار گرفته، سپس با اعمال نیرو توسط اهرم دستگاه مقدار نیرویی که پلت در لحظه شکسته‌شدن تحمل می‌کرد، ثبت گردید (Svihus *et al.*, 2004). در سنجش‌های فوق برای هر نمونه پنج بار آزمایش و میانگین آن به‌عنوان داده قابل ثبت برای نمونه منظور شد.

گوارش‌پذیری مواد مغذی و انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری تصحیح شده برای ازت جیره‌های آزمایشی

گوارش‌پذیری مواد مغذی و AME_n جیره‌های آزمایشی با روش جمع‌آوری کل فضولات و رکورد کل خوراک مصرفی و فضولات دفعی با پنج تکرار و دو قطعه پرنده در هر تکرار تعیین شدند (Zarghi

et al., 2011). به این منظور، تعداد ۲۰۰ قطعه جوجه خروس گوشتی یک روزه سویه راس ۳۰۸ تهیه و تا سن ۱۵ روزگی با جیره و شرایط یکسان پرورش یافتند. در سن ۱۵ روزگی، تعداد ۱۱۰ قطعه جوجه با بالاترین یکنواختی وزن (میانگین وزن ۵±۴۷۰ گرم بهازای هر قطعه) انتخاب و بهطور تصادفی بین ۵۵ قفس متابولیکی توزیع شدند. هر قفس متابولیکی دارای ۳۰ سانتی‌متر طول، ۴۰ سانتی‌متر عمق و ۴۵ سانتی‌متر ارتفاع و به آب‌خوری پستانکی خودکار، دان‌خوری ناودانی دستی و سینی کشویی گالوانیزه مخصوص جمع‌آوری فضولات مجهز بود. جوجه‌ها به‌مدت سه روز با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند که چهار روز اول (۱۸– ۱۵ روزگی) به‌منظور دوره عادت‌پذیری و سه روز بعد (۲۱–۱۹ روزگی) به‌عنوان دوره رکورد خوراک و جمع‌آوری فضولات در نظر گرفته شد. در دوره جمع‌آوری فضولات، پس از اعمال ۱۲ ساعت محرومیت از غذا سینی‌های مخصوص جمع‌آوری فضولات در زیر قفس‌ها قرار گرفتند. جوجه‌ها به‌مدت سه روز کامل به‌صورت آزاد با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند و پس از اعمال ۱۲ ساعت محرومیت از غذا، سینی‌های جمع‌آوری فضولات برداشته شدند. مقدار جیره مصرفی جوجه‌های هر قفس در سه روز آزمایش با کسر جیره باقی مانده از جیره داده شده تعیین شد. فضولات دفعی داخل آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. پس از جدا نمودن فلس، پر و سایر ضایعات موجود، وزن کل فضولات دفع شده هر قفس تعیین شد (Zarghi *et al*., 2011). قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی (ماده خشک، پروتئین‌خام و چربی‌خام) جیره‌های آزمایش از طریق معادله ۳، انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری (AME) جیره‌های آزمایش از طریق معادله ۴ و AME_n جیره‌های آزمایش از طریق معادله ۵ محاسبه شد (Dilger and Adeola, 2006; Adeola *et al*., 2001; Harjo and Teeter, 1994; Toghyani *et al*., 2014).

$$ANR = \frac{Total\ nutrient\ ingested - Total\ nutrient\ excreted}{Total\ nutrient\ ingested} \times 100 \quad (۳)$$

$$AME\ \left(\frac{kcal}{kg}\ of\ diet\right) = \frac{[(FI \times GEd) - (Excreta \times GEe)}{FI} \quad (۴)$$

$$AMEn = AME - \frac{8.22 \times (Ni - Ne)}{FI} \quad (۵)$$

که در آن‌ها، ANR: قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی جیره‌های آزمایشی، AME: انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری (کیلوکالری در کیلوگرم)، FI: مقدار مصرف خوراک، GEd: انرژی خام خوراک، GEe: انرژی خام فضولات، $AMEn$: انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری تصحیح‌شده برای ازت (کیلوکالری در کیلوگرم)، Ni: میزان ازت مصرفی (گرم) و Ne: میزان ازت دفعی به (گرم) است.

تجزیه شیمیایی

ترکیب شیمیایی (ماده خشک، چربی خام، ازت) در نمونه خوراک-های آزمایشی و فضولات مطابق روش‌های پیشنهادی تعیین شدند (AOAC, 2016). به این منظور، نمونه خوراک و کل فضولات مربوط به هر قفس آسیاب و همگن شدند. برای تعیین ماده خشک، نمونه‌ها داخل دستگاه آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند (Fayaz *et al*., 2023). چربی خام توسط دستگاه سوکسله دستی و ازت توسط دستگاه کجلدال اتومات تعیین شد. برای تعیین انرژی خام جیره‌های آزمایش و فضولات از بمب کالریمتر (Model, PARR 1261) استفاده شد.

آنالیز آماری

نتایج به‌دست آمده از آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم افزار SAS ویرایش ۹/۱ (SAS, 2003) با رویه مدل عمومی خطی (GLM) تجزیه آماری شدند. با توجه به اینکه اثر سه زمان نمونه‌گیری طی فرآیند خوراک‌سازی برای تمامی شاخص‌های مورد مطالعه معنی‌دار نشد، بنابراین نتایج مربوط به تیمار فرآوری حرارتی در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد (تیمارهای ۳، ۴ و ۵)، ۷۰ درجه سانتی‌گراد (تیمارهای ۶، ۷ و ۸) و ۸۵ درجه سانتی‌گراد (تیمارهای ۹، ۱۰ و ۱۱) به‌ترتیب با هم ادغام و آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی نامتعادل با پنج تیمار (تیمارهای خوراک آردی و پلت سرد با پنج تکرار و تیمارهای خوراک پلت به‌دنبال کاندیشنینگ ۵۵، ۷۰ و ۸۵ درجه‌سانتی‌گراد با ۱۵ تکرار) آنالیز شدند. میانگین‌های مربوطه با آزمون توکی در سطح احتمالی (P< ۰/۰۵) مقایسه شدند. مدل ریاضی طرح آماری به شرح معادله ۶ بود.

$$Y_i = \mu + T_i + \varepsilon_i \quad (۶)$$

که در آن، Y_i: مقدار صفت مورد نظر، μ: میانگین کل، T_i: اثر تیمار، و ε_i : خطای آزمایش در هر مشاهده می‌باشند.

نتایج و بحث

میزان انرژی الکتریکی مصرفی دستگاه پلت‌ساز

اثرات دمای کاندیشنینگ ۵۵، ۷۰ و ۸۵ درجه‌سانتی‌گراد بر میزان انرژی الکتریکی مصرفی دستگاه پلت‌ساز معنی‌دار بود (جدول ۲). افزایش دمای کاندیشنینگ باعث کاهش میزان انرژی الکتریکی مصرفی دستگاه پلت‌سازی شد (p<۰/۰۰۱). بیشترین میزان مصرف انرژی الکتریکی برای تهیه جیره پلت بدون کاندیشنینگ و کمترین میزان مصرف انرژی الکتریکی برای تهیه جیره پلت به‌دنبال کاندیشنینگ در دماهای ۷۰ و ۸۵ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد (p<۰/۰۰۱). مطابق با نتایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر، گزارش

شده است کاندیشنینگ با بخار (دماهای ۶۵ و ۷۸ درجه سانتی‌گراد) نسبت به کاندیشنینگ بدون بخار سبب کاهش انرژی الکتریکی مصرفی می‌شود (Skoch *et al.*, 1981). فرآیند کاندیشنینگ سبب نفوذ رطوبت به داخل ذرات خوراک، کاهش اصطکاک بین ذرات خوراک با منافذ دای که منجر به کاهش انرژی الکتریکی مصرفی دستگاه پلت‌ساز می‌شود. امّا در شرایط پلت سرد با کاهش سرعت خروج خوراک از سوراخ‌های دای و تلاش رول برای جبران تجمع خوراک باعث افزایش مصرف انرژی دستگاه پلت‌ساز می‌شود. مطابق با نتایج به‌دست آمده، در آزمایش اعمال کاندیشنینگ روی جیره‌های بر پایه گندم در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت چهار دقیقه نسبت به مدت زمان دو دقیقه انرژی الکتریکی مصرفی دستگاه پلت‌ساز کاهش یافت (Abbasi Pour *et al.*, 2021). در مقابل، با نتایج این آزمایش و نتایج گزارش‌های فوق در آزمایش مشابه بر روی جیره‌های بر پایه ذرت تفاوت معنی‌داری بین زمان‌های دو و چهار دقیقه روی انرژی الکتریکی مصرفی دستگاه پلت‌ساز مشاهده نشد (Attar *et al.*, 2019).

کیفیت فیزیکی (استحکام و سختی) پلت

نتایج مربوط به سنجش کیفیت پلت شامل PDI و سختی در جدول ۲ گزارش شده است. در پاسخ به افزایش دمای کاندیشنر، شاخص PDI با روند درجه دو تغییر نشان داد. سختی پلت با تغییر دمای کاندیشنینگ به‌صورت خطی افزایش یافت.

جدول ۲- اثر دمای کاندیشنر بر انرژی الکتریکی مصرفی دستگاه پلت و کیفیت فیزیکی پلت

Table 2- Effect of heat processing on pellet quality and electrical usage pellet meal

فرم فیزیکی Physical form	دمای کاندیشنر Conditioning temperature	تعداد نمونه Number sample	سختی پلت Hardness		استحکام پلت Pellet durability index		انرژی مصرفی Electrical usage	
آردی Mash	–	5	–		–		–	
پلت Pellet	25	5	1.26[d]	(0.058)	57.06[d]	(0.267)	20.92[a]	(0.119)
	55	15	1.81[c]	(0.033)	91.39[c]	(0.154)	10.76[b]	(0.069)
	70	15	2.82[a]	(0.033)	93.53[b]	(0.154)	9.21[c]	(0.069)
	85	15	2.66[b]	(0.033)	94.55[a]	(0.154)	8.86[c]	(0.069)
					سطح احتمال معنی‌داری P-value			
آنالیز واریانس ANOVA			<0.001		<0.001		<0.001	
اثر خطی Linear			0.002		<0.001		<0.001	
درجه دوم Quadratic			0.239		<0.001		<0.001	

[a-b] در هر ستون میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند ($p<0.05$)؛ تیمارهای آردی و پلت سرد میانگین پنج تکرار و تیمارهای دمایی میانگین ۱۵ تکرار است؛ مقادیر داخل پرانتز SEM می‌باشد. * بهبود قابلیت هضم چربی در جیره‌های پلت نسبت به جیره آردی.

[a–d] Values in a column with no common superscript letter are significantly different (P < .05); The mash and cold pellet data are the mean of 5 and 15 observations, respectively; The value in bracket is SEM. *Improving fat digestibility for pellet diets in compared with mash diet.

نتایج به‌دست آمده از این آزمایش با مطالعات قبلی مطابقت دارد، به‌طوری‌که اثر مثبت افزایش دما بر کیفیت فیزیکی پلت در خوراک‌های بر پایه گندم-کنجاله سویا (Abbasi Pour *et al.*, 2021 ; Abdollahi *et al.*, 2011; Abdollahi *et al.*, 2010a ; Abdollahi *et al.*, 2010a)، ذرت- سورگوم (Abdollahi *et al.*, 2010b) و ذرت- سویا (Attar *et al.*, 2019) گزارش شده است. اعمال دماهای ۵۰، ۶۰، ۷۰،۸۰ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۵ ثانیه باعث افزایش PDI و سختی پلت شد (Teixeira Netto *et al.*, 2019). گزارش شده است، کاندیشنینگ خوراک در دمای ۶۵ و ۷۸ درجه سانتیگراد باعث بهبود PDI خوراک پلت در مقایسه با جیره شاهد (عدم اعمال فرآوری حرارتی) شد (Skoch *et al.*, 1981). در آزمایشی روی جیره‌های حاوی ۷/۵ گرم در کیلوگرم بنتونیت سدیم کاندیشنر شده در دمای ۷۰ درجه به‌مدت دو دقیقه، PDI و سختی پلت افزایش یافت (Attar *et al.*, 2019). بهبود PDI و سختی پلت در جیره‌های رشد حاوی ۱۵ گرم بر کیلوگرم بنتونیت کاندیشنینگ شده در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت دو دقیقه در جیره‌های بر پایه گندم-کنجاله سویا (Abbasi Pour *et al.*, 2021) و کنجاله ذرت- سویا (Attar *et al.*, 2019) گزارش شده است. اعمال فرآوری

حرارتی باعث تزریق رطوبت بیشتری به ذرات خوراک شده که موجب افزایش چسبندگی بین اجزای خوراک و بهبود کیفیت خوراک پلت می‌شود (Abdollahi *et al.*, 2010a).

قابلیت هضم مواد مغذی جیره

نتایج مربوط به اثر فرآوری خوراک (آردی، پلت سرد و پلت بەدنبال کاندیشنینگ در دماهای ۵۵، ۷۰ و ۸۵ درجه سانتی‌گراد) بر قابلیت هضم ماده خشک، پروتئین خام و چربی خام در آزمایش با جوجه‌های گوشتی در جدول ۳ گزارش شده است.

جدول ۳– اثر فرآوری حرارتی جیره بر قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی در جوجه‌های گوشتی

Table 3- Effect of heat processing on apparent nutrient digestibility in the broiler chicken

فرم فیزیکی Physical form	دمای کاندیشنر Conditioning temperature	تعداد نمونه Number sample	قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی(درصد) Apparent digestibility (%)								
			ماده خشک Dry matter			پروتئین خام Crude protein			چربی خام Crude fat		
Mash	-	5	73.07[b]	(0.539)	-	67.25[b]	(1.039)	-	86.33[d]	(0.315)	-
Pellet	25	5	75.25[a]	(0.539)	2.98*	68.71[ab]	(1.039)	2.17*	89.00[c]	(0.315)	3.10*
	55	15	75.70[a]	(0.311)	3.60*	68.83[ab]	(0.600)	2.35*	90.95[b]	(0.297)	5.35*
	70	15	76.21[a]	(0.311)	4.30*	71.02[a]	(0.600)	5.61*	92.20[a]	(0.297)	6.80*
	85	15	76.04[a]	(0.311)	4.06*	69.86[ab]	(0.600)	3.88*	91.33[b]	(0.297)	5.79*
			سطح احتمال معنی‌داری P-value								
آنالیز واریانس ANOVA			<0.001			0.018			<0.001		
اثر خطی Linear			0.460			0.511			0.017		
درجه دوم Quadratic			0.627			0.703			0.064		

[a-b] در هر ستون میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند ($p<0.05$)؛ تیمارهای آردی و پلت سرد میانگین پنج تکرار و تیمارهای دمایی میانگین ۱۵ تکرار است؛ مقادیر داخل پرانتز SEM می‌باشد. * بهبود قابلیت هضم در جیره‌های پلت نسبت به جیره آردی.

[a–d] Values in a column with no common superscript letter are significantly different ($P < .05$); The mash and cold pellet data are the mean of 5 and 15 observations, respectively; The value in bracket is SEM. *IM = Improving digestibility for pellet diets in compared with mash diet.

تهیه خوراک به‌فرم پلت (پلت سرد و پلت بەدنبال کاندیشنینگ) باعث بهبود معنی‌دار قابلیت هضم ماده خشک، پروتئین خام و چربی خام نسبت به خوراک آردی شد ($p<۰/۰۵$). در توافق با نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر، با مقایسه جیره‌های آردی و پلت شده با و بدون بخار (۵۰، ۶۰، ۷۰،۸۰ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد) به‌مدت ۱۵ ثانیه، با افزایش دمای کاندیشنر قابلیت هضم ظاهری ماده خشک و پروتئین‌خام بهبود یافت (Teixeira Netto *et al.*, 2019). نتایج مطالعه دیگر نیز نشان داد که قابلیت هضم ماده خشک به‌طور قابل توجه برای جیره‌های پلت شده در مقایسه با جیره‌های آردی بیشتر شده است (Teixeira Netto *et al.*, Massuquetto *et al.*, 2018; 2019). افزایش دمای کاندیشنینگ غلات به هضم مواد مغذی کمک نموده و سبب بهبود عملکرد می‌شود (Selle *et al.*, 2013). در پژوهش حاضر، اعمال دماهای مختلف کاندیشنیگ بر روی قابلیت هضم چربی به‌صورت معادله درجه دوم معنی‌دار شد ($p<۰/۰۵$)، ولی بر قابلیت هضم ماده خشک و پروتئین معنی‌دار نبود ($p>۰/۰۵$). بالاترین میانگین قابلیت هضم چربی خام به خوراک پلت بەدنبال اعمال فرآوری حرارتی (کاندیشنینگ) در دمای ۷۰ درجه‌سانتی‌گراد تعلق داشت. مطابق با نتایج به‌دست آمده در مطالعه حاضر، تأثیر مثبت اعمال دماهای مختلف بر قابلیت هضم چربی در جیره‌های پلت فرآوری شده با کاندیشنیگ گزارش شده است (Abdollahi *et al.*, 20162013b; Attar *et al.*, 2019; Naderinejad *et al.*, ;). با ارزیابی قابلیت هضم ماده خشک و مواد مغذی ذرت و برنج به‌صورت خام و پخته نشان داده شد که فرآوری می‌تواند باعث بهبود قابلیت هضم مواد مغذی شود (Gonza´lez-Alvarado *et al.*, 2007). با ارزیابی دماهای مختلف کاندیشنر (۶۵، ۷۰، ۷۵، ۸۰، ۸۵ درجه سانتیگراد) بر خصوصیات پلت و قابلیت هضم مواد مغذی جیره‌های غذایی بر پایه سورگوم برای خوک‌ها گزارش شد که افزایش دمای کاندیشنر باعث تشکیل پیوند بین پروتئین‌ها و نشاسته و افزایش نشاسته مقاوم، کاهش حلالیت پروتئین و افزایش سختی پلت می‌شود و لذا، بیشترین مقادیر قابلیت هضم مواد مغذی در دماهای ۷۵ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد (Wang *et al.*, 2019).

نتایج این پژوهش نشان داد که خوراک فرآوری شده در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با خوراک آردی قابلیت هضم ماده خشک و پروتئین را به‌ترتیب ۴/۳۰ و ۵/۶۱ درصد بهبود داد. نتایج به‌دست

آمده از این آزمایش بـا گـزارش (Attar *et al*. Zang *et al*., 2009 ; 2019) مطابقت دارد. اگرچه برخی از محققین عـدم تـاثیر فـرآوری حرارتـی بـر قابلیـت هضـم مـواد مغـذی را گـزارش کردنـد (Abdollahi *et al*., Teymouriand Hassanabadi, 2021 ; 2013b). اثر بخشی فرآوری حرارتی بر قابلیت دسترسی مـواد مغـذی تحـت تـاثیر عـواملی از قبیـل مـدت زمـان کاندیشـنینگ، دمـای کاندیشنینگ، نوع غله (ذرت، سورگوم، جـو) و ترکیـب مـواد خـوراکی جیره (میزان و نوع مواد ضد تغذیه‌ای، آنزیم‌های حساس بـه حـرارت) واقع است (Abdollahi *et al*., 2013bSantos *et al*., 2020 ;).

در رابطه با اثرات دمای کاندیشنر بر قابلیت هضم پروتئین خوراک گزارش‌های متناقضی وجـود دارد. از جملـه گـزارش شـده اسـت کـه فرآوری حرارتی در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۰ ثانیه قابلیت هضم پروتئین را به‌طور معنـی‌داری افـزایش می‌دهـد (Zang *et al*., 2009). همچنین تغذیه جوجه‌های گوشتی بـا خـوراک پلـت فـرآوری شده در دمای کاندیشنر ۸۳ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۶۰ ثانیـه باعـث افزایش قابلیت هضم ایلئومی پروتئین در سن ۲۵ روزگـی در مقایسـه با خوراک آردی شد (Massuquetto *et al*., 2018). امّا در پژوهشـی دیگر، مقایسه پلت فـرآوری شـده در زمان‌هـای مختلـف (دو و چهـار دقیقه در دمای ۷۰ درجه) تفاوت معنی‌داری بر قابلیت هضـم پـروتئین نداشت (Attar *et al*., 2019). درحالی‌که گزارش شده است؛ افزایش دمای کاندیشنر از ۶۰ به ۹۰ درجه سـانتی‌گـراد به‌مـدت ۳۰ ثانیـه در جیره‌های بر پایه سورگوم قابلیت هضـم ایلئـومی پـروتئین را بـه‌طـور معنی‌داری کاهش داد (Abdollahi *et al*., 2010a).

در آزمایشی، با مقایسه دو فرم فیزیکی جیره بر پایه ذرت (آردی و پلت شده در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گـراد به‌مـدت ۳۰ ثانیـه)، کـاهش قابلیت هضم ایلئومی پروتئین را در پرندگان تغذیه شده با خوراک پلت نشان داد (Naderinejad *et al*., 2016). خوراک پلت فرآوری شـده در دمای ۹۰ درجه به‌مدت هفت ثانیه در مقایسه با خـوراک آردی (بـر پایه سورگوم) سبب کاهش معنی‌دار قابلیت هضم پروتئین شد (Selle *et al*., 2013).

انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری تصحیح شده برای ازت

نتایج تعیین AME و AME_n خوراک‌های آزمایشی در جوجه‌های گوشتی در جدول ۴ گزارش شده است. تهیه خوراک به‌فرم پلت (پلـت سرد و پلت به‌دنبال کاندیشنینگ) باعث بهبود معنـی‌دار انـرژی قابـل سوخت و ساز خوراک‌های آزمایشی شد ($p<0.05$). در توافق با نتـایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر، افزایش انرژی قابل سوخت و ساز جیره به‌دلیل قابلیت هضم بالاتر به‌عنوان یکی از مزایای تغذیه جوجـه‌هـای گوشتی با جیره‌های پلـت گـزارش شـده اسـت (Zelenka,. 2003 ; Zang *et al*., 2009; Naderinejad *et al*., 2016; Massuquetto *et al*., 2018).

جدول ٤- اثر فرآوری حرارتی بر انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری تصحیح شده برای ازت جیره در جوجه‌های گوشتی

Table 4- Effect of heat processing on apparent metabolizable energy corrected for nitrogen diets in broiler chicken

فرم فیزیکی Physical form	دمای کاندیشنر Conditioning temperature	تعداد نمونه Number sample	انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری Apparent metabolizable energy					
			AME (kcal/kg DM)			AME_n (kcal/kg DM)		
آردی Mash	-	5	2957^b	(23.629)	-	2774^b	(21.265)	–
پلت Pellet	25	5	2983^{ab}	(23.629)	0.88^*	2796^{ab}	(21.265)	0.79^*
	55	15	3031^a	(13.642)	2.50^*	2843^a	(12.277)	2.49^*
	70	15	3063^a	(13.642)	3.58^*	2870^a	(12.277)	3.46^*
	85	15	3034^a	(13.642)	2.60^*	2844^a	(12.277)	2.52^*
			سطح احتمال معنی‌داری P-value					
آنالیز واریانس ANOVA			0.002			0.004		
اثر خطی Linear			0.033			0.022		
درجه دوم Quadratic			0.067			0.046		

[a-b] در هر ستون میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند ($p<0.05$)؛ تیمارهای آردی و پلت سرد میانگین پنج تکرار و تیمارهای دمایی میانگین ۱۵ تکرار است؛ مقادیر داخل پرانتز SEM می‌باشد. * بهبود AMEn در جیره‌های پلت نسبت به جیره آردی.

[a–d] Values in a column with no common superscript letter are significantly different (P < .05); The mash and cold pellet data are the mean of 5 and 15 observations, respectively; The value in bracket is SEM. *Improving AME_n for pellet diets in compared with mash diet.

در مقابل نتایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر و گزارش‌های فوق، برخی از مطالعات عدم بروز اثر و یا حتی اثر منفی پلت کردن بر انرژی قابل سوخت و ساز جیره‌های بر پایه گندم را گزارش کرده‌اند (Abdollahi *et* Svihus *et al.*, 2004; Amerah *et al.*, 2007; *al.*, 2011). نتایج یک پژوهش نشان داد که پلت نمودن جیره جوجه‌های گوشتی بر پایه گندم باعث کاهش انرژی قابل سوخت و ساز از ۱۴/۰۲ مگاژول به ۱۳/۵۶ مگاژول شد (Abdollahi *et al.*, 2013b). نتایج آزمایش سنجش انرژی قابل سوخت و ساز حقیقی جیره‌های آردی بر پایه ذرت-کنجاله سویا کاندیشنینگ شده، پلت شده در دماهای مختلف کاندیشنینگ با اعمال فشار بخار و پلت مجدد آسیاب شده با استفاده از خروس‌های بالغ سیبالد تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (Cutlip *et al.*, 2008).

دمای کاندیشنیگ بر AME_n جیره به‌طور خطی و معنی‌دار اثر گذاشت ($p<۰/۰۵$). کاندیشنیگ در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد باعث بهبود AME_n خوراک به‌میزان ۹۶ کیلو کالری در کیلوگرم نسبت به خوراک آردی و ۷۴ کیلوکالری در کیلوگرم نسبت به خوراک پلت سرد شد. با اعمال کاندیشنینگ طی فرآیند تهیه خوراک به‌فرم فیزیکی پلت، نفوذ رطوبت به داخل ذرات خوراک پاره شدن گرانول‌های نشاسته و تخریب دیواره سلولی رخ می‌دهد. در نتیجه، باعث بهبود قابلیت هضم مواد مغذی و انرژی قابل سوخت و ساز جیره می‌شود (Svihus *et al.*, 2005). صرف نظر از نوع غلات، پلت کردن باعث بهبود AME_n غلات به‌میزان ۰/۲۲ مگاژول در مقایسه با جیره آردی شد (Khalil *et al.*, 2020). گزارش شده است که اعمال دمای کاندیشنر بالا (۸۵ درجه سانتی‌گراد) و مدت زمان فرآوری طولانی (۲۰ ثانیه) باعث کاهش قابلیت هضم ماده خشک، پروتئین و انرژی خوراک شد (Santos *et al.*, 2020).

در مطالعه حاضر، بالاترین مقدار انرژی قابل سوخت و ساز برای تیمار فرآوری شده در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و کمترین مقدار برای تیمار آردی به‌دست آمد. با مقایسه مقادیر انرژی قابل سوخت و ساز ظاهری، قابلیت هضم ماده خشک، پروتئین خام و چربی خام جیره پلت با جیره‌های آردی، مشاهده شد که دمای کاندیشنر بالاتر منجر به بهبود قابلیت هضم مواد مغذی و انرژی قابل سوخت و ساز می‌شود. فرآوری حرارتی (سوپرکاندیشنر) ذرت در دمای ۷۰ درجه-سانتی‌گراد به‌مدت ۱۵۰ ثانیه در جیره‌های آردی باعث بهبود قابلیت هضم ماده خشک در مقایسه با فرآوری در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد شد (Teymouri and Hassanabadi, 2021). درحالی‌که در مطالعات دیگر، تفاوت در قابلیت هضم ماده خشک بین جیره‌های آردی و پلت شده مشاهده نشد (Lopez *et al.*, 2007). مشاهده نتایج متناقض در مورد تأثیر پلت بر انرژی قابل سوخت و ساز جیره ممکن است به‌دلیل متفاوت بودن شرایط فرآوری خوراک، مقدار مواد ضد تغذیه‌ای جیره، ترکیب جیره و روش سنجش انرژی قابل سوخت و ساز باشد.

نتیجه‌گیری کلی

با اعمال کاندیشنینگ طی فرآیند تهیه خوراک به‌فرم فیزیکی پلت به‌سبب نفوذ رطوبت به ذرات خوراک؛ روان شدن و تسهیل عبور مواد از منافذ دای، پاره شدن گرانول‌های نشاسته و تخریب دیواره سلولی رخ می‌دهد. در نتیجه، علاوه‌بر بهبود ارزش غذایی خوراک (گوارش‌پذیری مواد مغذی و انرژی قابل سوخت و ساز جیره)، باعث کاهش مصرف انرژی الکتریکی در طی فرآیند تهیه و فرآوری خوراک و بهبود شاخص‌های کیفیت خوراک پلت همچون استحکام و سختی پلت می‌شود. به‌طور کلی، تهیه خوراک با فرم فیزیکی پلت و اعمال دمای کاندیشنینگ ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌دلیل کاهش انرژی الکتریکی مصرفی دستگاه پلت‌ساز، بهبود شاخص‌های سنجش کیفیت پلت و بهبود قابلیت هضم مواد مغذی و AME_n جیره پیشنهاد می‌شود.

References

1. Abbasi Pour, A., Kermanshahi, H., & Golian, A. (2021). Effects of conditioning time and activated sodium bentonite on pellet quality, performance, intestinal morphology, and nutrients retention in growing broilers fed wheat-soybean meal diets. *Animal Feed Science and Technology, 277,* 1149-1155. https://doi:10.1016/j.anifeedsci.2021.114955
2. Abdollahi, M. R., Ravindran, V., & Svihus, B. (2013a). Influence of grain type and feed form on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of nitrogen, starch ,fat, calcium and phosphorus in broiler starters. *Animal Feed Science and Technology*, *186*(3-4), 193-203. https://doi:10.1016/j.anifeedsci.2013.10.015
3. Abdollahi, M. R., Ravindran, V., & Svihus, B. (2013b). Pelleting of broiler diets: An overview with emphasis on pellet quality and nutritional value. *Animal Feed Science and Technology, 179*(1-4), 1-23. https://doi:10.1016/j.anifeedsci.2012.10.011
4. Abdollahi, M. R., Ravindran, V., Wester, T., Ravindran, G., & Thomas, D. (2010a). Influence of conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy, ileal digestibility of starch and nitrogen and the quality of pellets, in broiler starters fed maize-and sorghum-based diets. *Animal Feed Science and Technology,*

162(3-4), 106-115. https://doi:10.1016/j.anifeedsci.2010.08.017
5. Abdollahi, M. R., Ravindran, V., Wester, T., Ravindran, G., & Thomas, D. (2010b). Influence of conditioning temperature on the performance, nutrient utilisation and digestive tract development of broilers fed on maize-and wheat-based diets. *British Poultry Science*, *51*(5), 648-657. https://doi:10.1080/00071668.2010.522557
6. Abdollahi, M. R., Ravindran, V., Wester, T., Ravindran, G., & Thomas, D. (2011). Influence of feed form and conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of starch and nitrogen in broiler starters fed wheat-based diet. *Animal Feed Science and Technology, 168(1), 88-89*. https://doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.03.014
7. Abdollahi, M. R., Zaefarian, F., & Ravindran, V. (2018). Feed intake response of broilers: Impact of feed processing. *Animal Feed Science and Technology*, *237*, 154-165. https://doi:10.1016/j.anifeedsci.2013.10.015
8. Abdollahi, M. R., Zaefarian, F., & Ravindran, V. (2019). Maximising the benefits of pelleting diets for modern broilers. *Animal Production Science*, *59*(11) 2023-2028. https://doi:10.1071/AN19254
9. Adeola, O. (2000). Digestion and balance techniques in pigs. In: *Swine Nutrition* pp. 923-936: CRC Press.
10. Amerah, A., Ravindran, V., Lentle, R., & Thomas, D. (2007). Influence of feed particle size and feed form on the performance, energy utilization, digestive tract development, and digesta parameters of broiler starters. *Poultry Science*, *86*(12), 2615-2623. https://doi:10.3382/ps.2007-00212
11. Attar, A., Kermanshahi, H., Golian, A., Abbasi Pour, A., & Daneshmand, A. (2019). Conditioning time and sodium bentonite affect pellet quality, growth performance, nutrient retention and intestinal morphology of growing broiler chickens. *British Poultry Science*, *60*(6), 777-783. https://doi:10.1080/00071668.2019.1663493
12. Babouyeh, S., Shahbazi, H. R., & Moradi, S. (2021). Investigation the effect of different processes on production line energy consumption, quality and hygienic parameters of broiler chicken pellet. *Journal of Animal Environment*, *13*(2), 148-158 (In Persian) https://doi:10.22034/aej.2020.136489
13. Behnke, K. (1996). Feed manufacturing technology: Current issues and challenges. *Animal Feed Science and Technology*, *62*(1), 49-57. https://doi:10.1016/S0377-8401(96)01005-X
14. Cutlip, S., Hott, J., Buchanan, N., Rack, A., Latshaw, J., & Moritz, J. (2008). The effect of steam-conditioning practices on pellet quality and growing broiler nutritional value. *Journal of Applied Poultry Research*, *17*(2), 249-261. https://doi:10.3382/japr.2007-00081
15. Dilger, R., & Adeola, O. (2006). Estimation of true phosphorus digestibility and endogenous phosphorus loss in growing chicks fed conventional and low-phytate soybean meals. *Poultry Science*, *85*(4), 661-668. https://doi:10.1093/ps/85.4.661
16. Dozier, W., Behnke, K., Gehring, C., & Branton, S. (2010). Effects of feed form on growth performance and processing yields of broiler chickens during a 42-day production period. *Journal of Applied Poultry Research*, *19*(3), 219-226. https://doi:10.3382/japr.2010-00156
17. Fayaz, N., Kermanshahi, H., & Zarghi, H. (2023). Effect of heat processing on nutrient digestibility and metabolizable energy of canola seed in broiler chicken. *Iranian Journal of Animal Science Research*, *15*(2), 199-210. (In Persian with English summer). https://doi:10.22067/ijasr.2022.75836.1068
18. Froetschner, J. (2006). Conditioning controls pellet quality. *Feed Technology*, *10*, 5-12 .
19. González-Alvarado, J., Jiménez-Moreno, E., Lázaro, R., & Mateos, G. (2007). Effect of type of cereal, heat processing of the cereal, and inclusion of fiber in the diet on productive performance and digestive traits of broilers. *Poultry Science*, *86*(8), 1705-1715. https://doi:10.1093/ps/86.8.1705
20. Goodarzi Boroojeni, F., Mader, A., Knorr, F., Ruhnke, I., Röhe, I., Hafeez, A. & Zentek, J. (2014). The effects of different thermal treatments and organic acid levels on nutrient digestibility in broilers. *Poultry Science*, *93*(5), 1159-1171. https://doi:10.3382/ps.2013-03563
21. Harjo, C., & Teeter, R. (1994). A method to quantify combustible carbon. *Poultry Science*, *73*(12), 1914-1916. https://doi:10.3382/ps.0731914
22. Khalil, M., Abdollahi, M., Zaefarian, F., & Ravindran, V. (2021). Influence of feed form on the apparent metabolisable energy of feed ingredients for broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, *271*, 1147-1154. https://doi:10.1016/j.anifeedsci.2020.114754
23. Kirkpinar, F., & Basmacioglu, H. (2006). Effects of pelleting temperature of phytase supplemented broiler feed on tibia mineralization, calcium and phosphorus content of serum and performance. *Czech Journal of Animal Science*, *51*(2), 78-84.
24. Latimer, G. (2016). *Official methods of analysis of AOAC International. Washington: AOAC International*.
25. Loar, R., Wamsley, K., Evans, A., Moritz, J., & Corzo, A. (2014). Effects of varying conditioning temperature and mixer-added fat on feed manufacturing efficiency, 28-to 42-day broiler performance, early skeletal effect, and true amino acid digestibility. *Journal of Applied Poultry Research*, *23*(3), 444-455. https://doi:10.3382/japr.2013-00930
26. López, C., Baião, N., Lara, L., Rodriguez, N., & Cançado, S. (2007). Efeitos da forma física da ração sobre a digestibilidade dos nutrientes e desempenho de frangos de corte. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, *59*, 1006-1013. https://doi:10.1590/S0102-09352007000400029
27. Massuquetto, A., Durau, J., Schramm, V., Netto, M. T., Krabbe, E., & Maiorka, A. (2018). Influence of feed form

and conditioning time on pellet quality, performance and ileal nutrient digestibility in broilers. *Journal of Applied Poultry Research, 27*(1), 51-58. https://doi:10.3382/japr/pfx039
28. McCracken, K., Preston, C., & Butler, C. (2002). Effects of wheat variety and specific weight on dietary apparent metabolisable energy concentration and performance of broiler chicks. *British Poultry Science, 43*(2), 253-260. https://doi:10.1080/00071660120121472
29. Naderinejad, S., Zaefarian, F., Abdollahi, M., Hassanabadi, A., Kermanshahi, H., & Ravindran, V. (2016). Influence of feed form and particle size on performance, nutrient utilisation, and gastrointestinal tract development and morphometry in broiler starters fed maize-based diets. *Animal Feed Science and Technology, 215*, 92-104. https://doi:10.1016/j.anifeedsci.2016.02.012
30. Parsons, A., Buchanan, N., Blemings, K., Wilson, M., & Moritz, J. (2006). Effect of corn particle size and pellet texture on broiler performance in the growing phase. *Journal of Applied Poultry Research, 15*(2), 245-255. https://doi:10.1093/japr/15.2.245
31. Payne, J., Rattink, J., Smith, W., & Winowiski, T. (2001). The Pelleting Handbook: A Guide for Production Staff in the Compound Feed Industry, 12–13.
32. Santos, R., Bassi, L., Schramm, V., da Rocha, C., Dahlke, F., Krabbe, E., & Maiorka, A. (2020). Effect of conditioning temperature and retention time on pellet quality, ileal digestibility, and growth performance of broiler chickens. *Livestock Science, 240*, 104110. https://doi:10.1016/j.livsci.2020.104110
33. SAS. (2003). SAS User's guide: Statistics. Version 9. 1st ed. Cary (NC): SAS Inst. Inc.
34. Selle, P., Liu, S., Cai, J., & Cowieson, A. (2013). Steam-pelleting temperatures, grain variety, feed form and protease supplementation of mediumly ground, sorghum-based broiler diets: influences on growth performance, relative gizzard weights, nutrient utilisation, starch and nitrogen digestibility. *Animal Production Science, 53*(5), 378-387. https://doi:10.1071/AN12363
35. Skoch, E., Behnke, K., Deyoe, C., & Binder, S. (1981). The effect of steam-conditioning rate on the pelleting process. *Animal Feed Science and Technology, 6*(1), 83-90. https://doi:10.1016/0377-8401(81)90033-X
36. Svihus, B., Kløvstad, K., Perez, V., Zimonja ,O., Sahlström, S., Schüller, R., & Prestløkken, E. (2004). Physical and nutritional effects of pelleting of broiler chicken diets made from wheat ground to different coarsenesses by the use of roller mill and hammer mill. *Animal Feed Science and Technology, 117*(3-4), 281-293. https://doi:10.1016/j.anifeedsci.2004.08.009
37. Svihus, B., Uhlen, A., & Harstad, O. (2005). Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. *Animal Feed Science and Technology, 122*(3-4), 303-320. https://doi:10.1016/j.anifeedsci.2005.02.025
38. Teixeira, N., Massuquetto, A., Krabbe, E., Surek, D., Oliveira, S., & Maiorka, A. (2019). Effect of conditioning temperature on pellet quality, diet digestibility, and broiler performance. *Journal of Applied Poultry Research, 28*(4), 963-973. https://doi:10.3382/japr/pfz056
39. Teymouri, M., & Hassanabadi, A. (2021). Influence of corn conditioning temperature and enzyme supplementation on growth performance, nutrient utilisation and intestine morphology of broilers fed mash corn-soy diets. *Italian Journal of Animal Science, 20*(1), 1015-1028. https://doi:10.1080/1828051X.2021.1943015
40. Toghyani, M., Rodgers, N., Iji, P., & Swick, R. (2015). Standardized ileal amino acid digestibility of expeller-extracted canola meal subjected to different processing conditions for starter and grower broiler chickens. *Poultry Science, 94*(5), 992-1002. https://doi:10.3382/ps/pev047
41. Wang, T., Huang, Y., Yao, W., He, Q., Shao, Y., Li, H., & Huang, F. (2019). Effect of conditioning temperature on pelleting characteristics, nutrient digestibility and gut microbiota of sorghum-based diets for growing pigs. *Animal Feed Science and Technology, 254*, 114227. https://doi:10.1016/j.anifeedsci.2019.114227
42. Zang, J., Piao, X., Huang, D., Wang, J., Ma, X., & Ma, Y. (2009). Effects of feed particle size and feed form on growth performance, nutrient metabolizability and intestinal morphology in broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 22*(1), 107-112. https://doi:10.5713/ajas.2009.80352
43. Zarghi, H., Golian, A., Kermanshahi, H., & Aghel, H. (2011). Effect of enzyme supplementation on metabolisable energy of corn, wheat and triticale grains in broiler chickens using total excreta collection or marker methods. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 3(2), 105-112 (In Persian with English summer). https://doi:10.22067/IJASR.V3I2.11009
44. Zelenka, J. (2003). Effect of pelleting on digestibility and metabolizable energy of poultry diets. In Proc. Eur. Symp. Poult. Nutr., Lillehammer. Lillehammer, Norway: World. Poult. Sci. Assoc. 127–128.